

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-054853

(43)Date of publication of application : 26.02.1999

(51)Int.Cl.

H01S 3/30  
G02F 1/35

(21)Application number : 10-157007

(71)Applicant : LUCENT TECHNOL INC

(22)Date of filing : 05.06.1998

(72)Inventor : REED WILLIAM ALFRED  
STENTZ ANDREW J  
STRASSER THOMAS A

(30)Priority

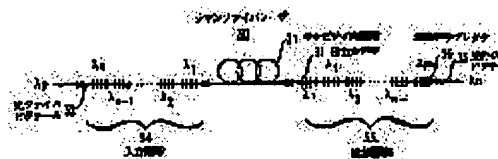
Priority number : 97 871023 Priority date : 06.06.1997 Priority country : US

## (54) SYSTEM HAVING RAMAN FIBER LASER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a cascaded Raman laser(CRL), which significantly increases conversion efficiency and is highly reliable.

SOLUTION: In a CRL 30, which receives pumping radiation light of a wavelength  $\lambda_p$  and radiates emitted light of a wavelength  $\lambda_n$  which is longer than the wavelength  $\lambda_p$ , the CRL 30 consists of an optical fiber, which has L long cavities 21 arranged between an input region 34 and an output region 35 and has a certain length, the above input and output regions 34 and 35 respectively have fiber plug gratings having center wavelengths of  $\lambda_1 < \lambda_2 < \dots < \lambda_n$  and in the regions 34 and 35, the fiber plug gratings of the regions 34 and 35 are arranged in such an order that the center wavelengths of the gratings become long, as they become more distant from the cavities 21. In the region 35, the fiber plug grating of the center wavelength  $\lambda_n$  is arranged between the cavities 21 and the fiber plug grating of the center wavelength  $\lambda_{n-1}$ .



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 17.09.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3357291

[Date of registration] 04.10.2002

## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

## CLAIMS

---

### [Claim(s)]

[Claim 1] In the system which has the Raman Feiba laser (30) which receives the pump synchrotron orbital radiation of wavelength  $\lambda_{\text{pump}}$ , and emits the output light of wavelength  $\lambda_{\text{out}}$  more than  $\lambda_{\text{pump}}$  said Raman Feiba laser (30)

a) It has the optical fiber of a certain die length which has the field in a cavity (21) of die-length  $L$  arranged between an input area (34) and an output area (35). Said input area (34) and output area (35) It has the main wavelength  $\lambda_1$  and  $\lambda_2$  and the fiber BURAGU grating which has  $n$  is two or more and is  $\lambda_1 < \lambda_2 < n \cdot \lambda_1$  (here), respectively, and is b. In said input area (34) The main wavelength  $\lambda_1$  and  $\lambda_2$  and the fiber BURAGU grating of  $n \cdot \lambda_1$  It is arranged in sequence which becomes large as the main wavelength separates from the field in a cavity, and it is c. In said output area (35) The main wavelength  $\lambda_1$  and  $\lambda_2$  and the fiber BURAGU grating of  $n \cdot \lambda_1$  It is arranged in sequence which becomes large as the main wavelength separates from the field in a cavity (21), and it is d. In said output area (35) The fiber BURAGU grating (31) of main wavelength  $\lambda_{\text{out}}$  is a system which has the Raman Feiba laser characterized by being arranged between the field in a cavity (21), and the fiber grating of main wavelength  $\lambda_{\text{out}}$ .

[Claim 2] It is the system according to claim 1 characterized by arranging the fiber BURAGU grating (31) of main wavelength  $\lambda_{\text{out}}$  in said output area (35) between the field in a cavity (21), and the fiber grating of the main wavelength  $\lambda_1$ , and the peak reflection factor of the fiber BURAGU grating of  $\lambda_{\text{out}}$  having the main wavelength of said output area (35) in 10 - 25% of within the limits.

[Claim 3] For the fiber BURAGU grating of  $\lambda_{\text{pump}}$ , main wavelength is the system according to claim 1 by which it is characterized by arranging main wavelength in the distance further from the field in a cavity (21) rather than the fiber BURAGU grating of  $\lambda_{\text{out}}$  in said output area (35).

[Claim 4] Center frequency spacing between said adjoining fiber BURAGU gratings is a system according to claim 1 characterized by corresponding to the frequency shift of the range of 11.7-14.9THz.

[Claim 5] The field in said cavity (21), an input area (34), and an output area (35) It has the optical fiber of the silica base altogether. The  $\Delta n$  (delta) of the core of this optical fiber to 1.0 - 1.8% of within the limits The  $\Delta n$  (delta) of a cladding layer goes into -0.5 to -0.1% of within the limits, and the  $\Delta n$  (delta) of said core are  $(n_c - n_0) / n_0$ . The  $\Delta n$  (delta) of a cladding layer is a system according to claim 1 which it defines as  $(n_{cl} - n_0) / n_0$ ,  $n_c$  is the effective refractive index of a core here, and  $n_{cl}$  is the effective refractive index of a cladding layer, and is characterized by  $n_0$  being the refractive index of fused silica.

[Claim 6] a) Main wavelength goes into 10 - 25% of within the limits, and the peak reflection factor of the fiber BURAGU grating of  $\lambda_{\text{out}}$  is b. In said output area Main wavelength the fiber BURAGU grating of  $\lambda_{\text{pump}}$  Main wavelength is arranged in the location which is distant from the field in a cavity from the fiber BURAGU grating of  $\lambda_{\text{out}}$ , and it is c. Said two or more fiber BURAGU gratings The system according to claim 2 by which full width at half maximum of a reflective bandwidth is characterized by having a reflection factor included in 0.8-2.0nm.

[Claim 7] Said system is an optic fiber communication system. A transmitter (61) and a receiver (67), The optical-fiber-transmission pass which connects this transmitter (61) and receiver (67) (63), It is the system according to claim 1 characterized by having optical fiber amplifier (64) and the pump radiation source (66) of wavelength  $\lambda_{\text{pump}}$ , giving said pump radiation to said Raman Feiba laser, and giving output radiation of wavelength  $\lambda_{\text{out}}$  to said optical fiber amplifier (64).

[Claim 8] Said optical fiber amplifier (66) is a system according to claim 7 which is the Raman amplifier and is characterized by  $\lambda_{\text{out}}$  being 1.45 micrometers or 1.24 micrometers.

[Claim 9] Said optical fiber amplifier (66) is a system according to claim 7 which is the optical fiber amplifier of Er dope by which a pump is carried out from remoteness, and is characterized by  $\lambda_{\text{out}}$  being 1.48 micrometers.

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DETAILED DESCRIPTION

## [Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the goods and the system which contain such laser especially about cascade-like Raman Feiba laser.

[0002]

[Description of the Prior Art] Cascade-like Raman laser (Cascaded Raman Lasers (CRL)) is well-known. For example, refer to U.S. Pat. No. 5,323,404. It explains briefly, Raman laser will use the Raman-scattering phenomenon. This Raman-scattering phenomenon is a nonlinear optics process which reradiates wavelength which combines with the oscillation mode of this nonlinear medium the light which spreads the inside of a nonlinear medium (generally an optical fiber, usually optical fiber of the silica base), and is different (usually long).

[0003] In addition to the optical cavity for the output light of wavelength  $\lambda_{\text{pump}}$ , "cascade-like" Raman laser has further the optical cavity for radiation of wavelength  $\lambda_{\text{output}} = \lambda_{\text{pump}} - n \cdot \lambda_{\text{Raman}}$ . It is the integer of  $n \geq 2$  here.

[0004] When fused silica is used as a nonlinear medium, the maximum Raman gain is generated in respect of a 13.2THz frequency shift, and this is equivalent to a 50-100nm wavelength shift to the pump wave length between 1 micrometer and 1.5 micrometers.

[0005] CRL can be used as the pump LD for the Raman amplifiers (1310nm or 1550nm), or 1480nm pump LD for Er fiber amplifiers of the remote pump in the optical fiber communication system which does not have a regenerator. Other purpose or other wavelength other than this can be used.

[0006] CRL concerning the conventional technique has high conversion efficiency (about 35%) -- it is small and is the high optical source of convenience. However, when conversion efficiency is improved, there is big economical effectiveness. For example, if conversion efficiency increases even several [ only ]%, the dependability of a semiconductor pump laser diode can be raised sharply. The reason is that the dependability of such laser has a very high linearity dependency to output power.

[0007]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Since dependability is the biggest concerns in an optic fiber communication system, CRL to which conversion efficiency is made to increase sharply is desired extremely. Therefore, this invention is offering CRL with such high dependability.

[0008]

[Means for Solving the Problem] CRL of this invention receives the pump synchrotron orbital radiation of wavelength  $\lambda_{\text{pump}}$ , and emits the output light of  $\lambda_{\text{output}}$  of the wavelength more than  $\lambda_{\text{pump}}$ . CRL of this invention has the description indicated to claim 1. Die-length L is usually about hundreds of  $\mu\text{m}$  in die length here, and an output area and an input area are about [ 1m ] die length.

[0009] In the example of this invention a pump reflector (reflection) grating (pumpreflector grating) the location (in other words, when it centers on the field in a cavity, it is an outside [ grating /  $\lambda_{\text{pump}}$  ]) still more distant than  $\lambda_{\text{pump}}$  grating of an output side from the field in a cavity (intracavity section) -- for example It is in a location more distant than  $n \cdot \lambda_{\text{pump}}$  grating. Usually, a high reflective grating It has the reflective bandwidth of the range of 0.8-2.0nm. The maximum reflectance of an output coupler The frequency shift between the Raman laser stages which are 10 - 25% and adjoin is within the limits of 11.7-14.9THz, and the delta of the core of a cavity intrinsic-light study fiber is 1 - 1.8%. The delta of a cladding layer is -0.05 to -0.1%, and the die length of the field in a cavity is within the limits of 300-1200 $\mu\text{m}$ .

[0010] According to the above-mentioned description in the example of this invention, frequency effectiveness improves about 1%, and the still more nearly optimal configuration can also be used. On the other hand, conversion

efficiency is improved about 10% by the location sequence (rather than  $n\text{-}\lambda/4$  grating, an output coupler is arranged near the field in a cavity, and is usually arranged to a field nearer than  $\lambda/4$  grating) of a grating, and this is the very important description of CRL of this invention. In order to improve furthermore, it is necessary to adjust the die length of the field in a cavity suitably.

[0011] The distance between two estranged descriptions of the optical fiber used on terminological definition book specifications means the distance in alignment with the shaft of an optical fiber. "The field in a cavity" of fiber Raman laser means a central part without the grating of the optical fiber between an input area and an output area. And this input area and output area (it is named "edge part" generically) contain all the fiber BURAGU gratings of Raman laser. The estranged short period fiber BURAGU grating with main equal wavelength they are [ grating ] two pieces forms the optical cavity which emits wavelength equal to this main wavelength.

[0012]

[Embodiment of the Invention] The cascade-like Raman laser (CRL) by this invention has conversion efficiency far higher than CRL concerning the similar conventional technique. The important focus of this invention is the location sequence (so location sequence of an optical cavity) of an optical fiber BURAGU grating. This is explained below.

[0013] U.S. Pat. No. 5,323,404 indicates various location sequence (they are things to reference about drawing 1, and 2 and the related explanation of those), and explains it as follows. "A Rhine-like refractive-index grating is in about 100% transparency condition in the wavelength of the outside of a reflective band, and, so, there is a degree of freedom in the arrangement location of a reflector. or [ for example, / that an optical cavity is put in order in good order ] -- or it overlaps to some extent and is arranged.", however a patent shown above are not indicated or suggested about the special location sequence indicated to claim 1 of this invention.

[0014] In drawing 4 of a patent shown above, the Raman amplifier is indicated, and the main wavelength of the fiber BURAGU grating is increasing as it separates from the field in a cavity. this -- being related -- S.G.Grubb, OFC'96, San Jose, California, Tutorial Sessions Handbook, and p.243 (1996) -- reference -- things. In p.256 of this reference, it has a pump reflector immediately behind the grating which has the main wavelength which increases with the distance from the field in a cavity, and the downstream of the field in a cavity, and CRL which possesses an output coupler from the field in a cavity to the most distant location is indicated. Refer to 259 as pp.258 to coincidence again.

[0015] Existence of two loss mechanisms relevant to the BURAGU grating of the short period written in in the single mode fiber of the silica base is well-known. For example, it is related with this and is V.Mizrahi et al. Work J.of Lightwave Technology, Vol.11, and p.1513 (1993) P.J.Lemaire et al. Work Refer to Electronics Letters, Vol.29, and p.1191 (1993).

[0016] By the former reference, the loss mechanism relevant to association to the back propagation clad mode (backward-propagating cladding mode) in wavelength [ a little ] shorter than the BURAGU resonance wavelength (main wavelength) of a grating is discussed, and it is arguing about the broadband background loss introduced by UV radiation used for the latter paper writing in a grating.

[0017] Drawing 1 expresses the transmission spectrum of a series of five gratings (namely, output area of the grating for 1450nmCRL), and shows the effect of these loss mechanisms. Figures 101-105 express the peak of the loss to which figures 111-115 originate BURAGU reflection of each grating in cladding layer mode coupling. The tail (an example, 12) of the clad mode loss from a certain BURAGU reflector has attained to even the wavelength of the grating which a short wavelength side adjoins.

[0018] In order to raise the conversion efficiency of CRL, cavity loss including loss resulting from the mechanism about which it argued above must be made into the minimum. By arranging a fiber BURAGU grating in suitable sequence, loss resulting from the mechanism about which it argued above can be reduced sharply. The location sequence of the conventional method used with the conventional technique is shown in drawing 2. This drawing receives pump radiation (1117nm is emitted as an example of representation), and changes this pump radiation into output radiation (it considers as the example of representation and 1480nm is emitted).

[0019] In 21, 23 expresses an input area and 24 expresses an output area for the field in a cavity of laser. A splice is expressed with a notation "x." Laser can be formed without a splice (connection part) between the field in a cavity, an input area, and an output area at least theoretically. However, it is fused junction (fusion splice) to the field in a cavity about this edge field after the grating was written in the edge field from the reasons of manufacture. Carrying out is desirable. The fiber of an edge field is usually the same as that of it of the field in a cavity.

[0020] An input area usually has five fiber BURAGU gratings, and the main wavelength is 1175nm, 1240nm, 1315nm, 1395nm, and 1480nm, respectively. It has a grating to which main wavelength also becomes large as distance separates this input area from the field in a cavity (main wavelength becomes large, so that it goes outside, when it sees centering on the field in a cavity).

[0021] It is the wavelength (for example, respectively 1175nm, 1240nm, 1315nm, 1395nm, 1480nm) which increases as an output area also has five fiber BURAGU gratings which suit the grating of an input area and the distance of the main wavelength from the field in a cavity similarly increases. The fiber BURAGU grating (for example, two gratings which have the main wavelength of 1175nm) of each set forms an optical cavity, and the grating has a usually high reflection factor (an example, 95% or more).

[0022] Pump radiation is spread from an input area to the field in a cavity, without receiving damage at all. The great portion of pump radiation in the field in this cavity is changed into 1175nm radiation by Raman scattering, and this radiation is reflected by 1175nm grating of an output area. This reflected 1175nm radiation is changed into 1240nm radiation by Raman scattering after that, and this radiation is reflected by 1240nm grating of an input area. The process of this wavelength conversion by Raman scattering is performed until 1480nm radiation is generated. This radiation is used after that.

[0023] Drawing 2 has the 1117nm grating 22 on which an output area functions as a pump reflector (reflector). It is not the optimal, although the thing of the field in a cavity immediately arranged to the downstream is possible in this pump reflector as shown in drawing 2. This is explained below.

[0024] The above-mentioned laser actuation can be simplified and explained. Usually, before a photon (photon) receives Raman scattering, it has the inside of an optical cavity reflected, is coming and going, and as a result, it comes out of a cavity, and it generates the photon of long wave length rather than it enters in the following optical cavity.

[0025] CRL by this invention is shown in drawing 3. this drawing -- setting -- the "pigtail" of the fiber of the former [ 33 / 32 and ] -- 34 -- an input area -- in 35, 31 expresses an output coupler and 36 expresses a pump reflector for an output area. It is distinguished that the grating of various classes is also for the main wavelength  $\lambda_1 < \lambda_2 < \dots < \lambda_n$ .

[0026] Although the location sequence of a fiber BURAGU grating was shown in drawing 3, below, this location sequence reduces loss and explains the reason to which conversion efficiency is made to increase as a result.

[0027] Since there is an experimental result said that the clad mode coupling from a certain grating is lost by the short wavelength side of the grating, all clad mode loss of CRL to which the above-mentioned location sequence originates in  $\lambda_p$  radiation which passes  $\lambda_1$  grating of an input area is reduced. Although long wave length is oscillating by many off-resonance gratings in a cavity more further again, this does not serve as big loss. That reason is that there is less effect of background loss than this wavelength with short long wave length more. When both background loss and clad mode loss arrange a grating appropriately in this way, it can decrease sharply.

[0028] It was found out further again that the conversion efficiency of CRL is greatly influenced by the output area grating of the arrangement location of an output coupler and the optical cavity for output radiation. This output coupler is usually a weak grating (generally in main wavelength, it is only only 20% of reflection factor), and does not generate clad mode coupling big so. As a result, conversion efficiency can improve by bringing an output coupler close to the field in a nearby cavity, and arranging it from the arrangement shown in drawing 2. In CRL by this invention, an output coupler is the grating of the output area arranged to the field in a cavity most at near ( drawing 3 ).

[0029] drawing 3 -- setting -- 32 and the fiber pigtail of the former [ 33 ] -- 34 -- an input area -- in 35, 31 expresses an output coupler and 36 expresses a pump reflector for an output area. The grating of various classes is distinguished by main wavelength  $\lambda_1 < \lambda_2 < \dots < \lambda_n$ .

[0030] As shown in drawing 3, even if it arranges an output coupler, big clad mode loss cannot be introduced into resonance short wavelength, but the background loss which output radiation ( $\lambda_n$ ) receives can be reduced sharply.

[0031] The pump reflector 36 is a strong grating (the reflection factor in  $\lambda_p$  is 95% or more) which introduces big background loss. Background loss of CRL can be reduced when a pump reflector is the output area grating which has been arranged in the distance from the field in a cavity rather than  $\lambda_1$  grating and which has been arranged in the desirable most distant location from the field in a cavity (as shown in drawing 3, this is one example of this invention). However, arrangement of a pump reflector as shown in drawing 3 is an alternative matter. For example, when a pump reflector grating is formed as a weak grating, a pump reflector can also be arranged near the field in a cavity ( drawing 2 ).

[0032] The increment in large conversion efficiency is acquired by the location sequence of a grating as shown in drawing 3. For example, in order that CRL ( $\lambda_p=1117\text{nm}$ ,  $\lambda_n=1480\text{nm}$ ) by this invention may change 1117nm light into 1480nm light, inclination effectiveness high 9% is acquired as compared with CRL of the conventional technique in which only the sequence of a grating differs.

[0033] this invention persons found out that conversion efficiency improved by choosing the bandwidth of a grating suitably. For example, the improvement of 4% of conversion efficiency was obtained by reducing all the bandwidths (full width at half maximum, i.e., FWHM) of a 1.8nm [ conventional 2.3nm to ] high reflection factor grating. CRL by

this invention has the grating of the high reflection factor (95% or more, preferably 98% or more) of the bandwidth within the limits of 0.8-2.0nm in this way.

[0034] On the occasion of selection of the minimum spectrum bandwidth, a spectrum bandwidth from which overlap good between two gratings which form a resonance cavity as a matter which should be careful of is acquired is covered, and it is that a high grating reflection factor is the need. It is because the optical power reflected from a certain grating will be weakly reflected by the 2nd grating and this will give a large cavity loss mechanism, when not carrying out the reason in this way.

[0035] Since about 0.1nm is a limitation, the precision of the wavelength of the present grating manufacturing technology is the bandwidth of a high reflection factor. >> It is made 0.1nm (for example, about 0.3nm), and must be made for the field of a quantity reflection factor to have to have a good lap as a result. The die length of a grating can determine the relation between a high reflection factor bandwidth and full width at half maximum (FWHM). The 0.8nm minimum FWHM is dependent on grating die length in part. When a grating with a die length of 1cm or less is used, a high reflection factor bandwidth is restricted to 1/about 2 of FWHM.

[0036] this invention person found out that selection of output coupler reinforcement influenced conversion efficiency. For example, in the case of the output coupler of 20% of reflection factor, the conversion efficiency optimal in the case of the pump power of about 4 W is acquired by above CRL. In fact, it is dependent on many factors and, generally the optimal output coupler reinforcement cannot predict the optimal value. However, an experiment can determine an optimum value and it is usually 10 - 25% of within the limits.

[0037] In a fused silica system, the greatest Raman gain is generated in a 13.2THz frequency tooth space. germanium-silica system fiber -- setting -- the maximum gain -- some -- a long wave -- although it generates in the location shifted to the merit side, the reason is that GeO<sub>2</sub> contributes to the susceptibility of Raman scattering. In CRL, desired pump wave length and output wavelength are not separated by two or more maximum frequency shifts.

[0038] However, we have found out not becoming a fall to the extent that conversion efficiency is not necessarily accepted, even if it uses the frequency shift which is not the optimal. Choosing a grating which the multiplier of the Raman gain is at least 90% of the maximum to the frequency shift between 11.7THz and 14.9THz in the silica system fiber of germanium-dope when it explains concretely, main wavelength corresponds, and is different does not affect conversion efficiency at all, but a still bigger degree of freedom is given [ as opposed to / the result / selection of output radiation / to the designer of CRL / with pump radiation ].

[0039] In order to make a laser oscillation threshold into the minimum and to make the Raman susceptibility increase, it is desirable to use the germanium-silicate system fiber which has a high delta (delta) and a small effective core. However, the fiber which has a small effective core may often show loss unusual for the engine performance of CRL. The fiber of a delta high further again must be what can carry out a splice to the splice (the splice of an input area and the output area is carried out to the field in a cavity) to itself, and the fiber of another design (an input pigtail and output pigtail). By various reasons, a splice must be low loss.

[0040] The above-mentioned requirements found out that it could suit when the fiber of a high delta has a fluorine impregnation cladding layer, and when a pigtail is a matched clad fiber (matched-clad fiber). the case where there is a delta (delta) of the cladding layer which the splice to itself is made, and the delta (delta) of the core of a high delta (delta) fiber is located in 1.0 to 1.8% of range, and doped the fluorine by selection of this fiber to -0.5-0.1% -- difference -- the splice of a pigtail becomes easy by diffusion.

[0041] Conventionally, the vocabulary (a core, a cladding layer, a delta (delta), matched KURRADINGU (matched cladding)) used here is well-known, and this contractor can understand it. For example,  $(n_c - n_0) / n_0$  can define the delta (delta) of a core,  $n_c$  is the effective refractive index of a core here,  $n_0$  is the refractive index of fused silica,  $(n_{cl} - n_0) / n_0$  can define the delta (delta) of a clad, and  $n_{cl}$  is the effective refractive index of the cladding layer of F-dope here.

[0042] Drawing 4 shows the delta profile (refractive-index profile) of the optical fiber used for the field in a cavity and output area of CRL of this invention. 41 is a core, 42 is an inside cladding layer, 43 is an outside cladding layer and this outside cladding layer 43 is prolonged even on the outside front face of an optical fiber.

[0043] The die length of the field in a cavity of CRL is a parameter, and it depends for the optimal die length on loss of laser, the size of an effective core, and pump power. It depends for the output power of CRL on the die length of a fiber as shown in drawing 5 . It is related with this and is W.A.Reed et al. work. OFC'95 Technical Digest, p.107, and WD1 Refer to. In order to make CRL into immunity to fluctuation of a splice, or loss of a grating, it is desirable to lengthen the die length of the field in a cavity a little to a certain pump power rather than the die length from which output power serves as max.

[0044] As a result of explaining above, this die length is far shorter than the die length to which CRL concerning the similar conventional technique corresponds. The die length of the field in a cavity of this invention is about 500m to the



die length of the field in a cavity of the conventional technique being about 1km. Thus, when the die length of the field in a cavity becomes short, conversion efficiency rises and cost also falls. However, the field in a cavity of CRL of this invention does not necessarily need to be 1km or less. Generally within the limits of 300-1200m, it is 700m or less preferably.

[0045] Drawing 6 expresses the system of this invention, namely, the optic fiber communication system 60 by which the pump was carried out from remoteness has a transmitter 61 (it is on usual ground 1), and a receiver 67 (it is on usual ground 2). It connects with the conventional fiber 63 for transmission, and is transmitted to the optical magnification fiber 64 through there, and the signal synchrotron orbital radiation 62 (for example, wavelength of 1.55 micrometers) is further transmitted to a receiver. The pump synchrotron orbital radiation 68 for optical magnification fibers is given to CRL66 by this invention, it is combined with the fiber for transmission by conventional WDM65, and this is transmitted to an optical magnification fiber, for example, Er-dope fiber, through there. Raman laser is chosen so that radiation (an example, 1.48 micrometers) of the wavelength suitable for carrying out the pumping of the optical magnification fiber with which signal radiation is amplified can be outputted.

[0046] CRL by this invention is used for giving the pump radiation or 1.55-micrometer signal radiation for the Raman amplifier (an example, amplifier for 1.31micrometer), and such amplifier and the optic fiber communication system which has CRL of this invention are obtained. CRL by this invention is a commercial system irrespective of the existence of the pump radiation source, and this is also one example of this invention.

[0047] Example 1 CRL was formed as shown in drawing 2 . The main wavelength of a fiber BURAGU grating is 1116nm (pump reflector), 1174nm, 1239nm, 1311nm, 1394nm, and 1484nm, respectively, and FWHM of these gratings is 2.0nm, 1.8nm, 1.9nm, 2.0nm, and 1.8nm, respectively. The reflection factor of 1484nm grating (output coupler) of an output part is 25%.

[0048] The radius of a core is 2.0 micrometers, the delta (delta) of an inside (depressed) cladding layer is -0.27%, the die length of the field in a cavity is 1km, and it has [ a fiber is a germanium silica system fiber and / the delta (delta) of a core is 1.16% and / the outer diameter of an inside cladding layer is 4.5 micrometers and ] the outside cladding layer of the silica system which has not been doped. If the pumping of the CRL is carried out by 1116nm pump radiation from the conventional source, laser will be oscillated by 1484nm. This CRL is the threshold of 700mW, and inclination effectiveness [ 47% of ] (input-control-power-threshold)/(output power).

[0049] Example 2 -- although CRL was manufactured like Example 1 in this example, a pump reflector (1115nm grating of an output area) is exchanged for an output coupler (1485nm grating of an output area), and the reflection factor of an output coupler is 10%. This CRL has the threshold of 688mW, and 52% of inclination effectiveness. Although this grating was not the same as for it of Example 1, the difference and FWHM of main wavelength were not big.

[0050] Example 3 -- although CRL of this example was manufactured almost identically to CRL of Example 2, there are the following differences.

i) The pump reflector has been arranged between an output coupler and 1175nm grating of an output area.

ii) The reflection factor of an output coupler was 23%.

iii) The delta (delta) of the core of a fiber was 1.67%, the radius of a core was 1.7 micrometers, the delta (delta) of an inside cladding layer was -0.07%, the appearance of this inside cladding layer was 22.5 micrometers, and the die length of the field in a cavity was 480m. This CRL had the threshold of 384mW and inclination effectiveness was 56%. Although this grating is not the same as for it of drawing 2 , the difference of main wavelength and the difference of FWHM are not big.

---

[Translation done.]

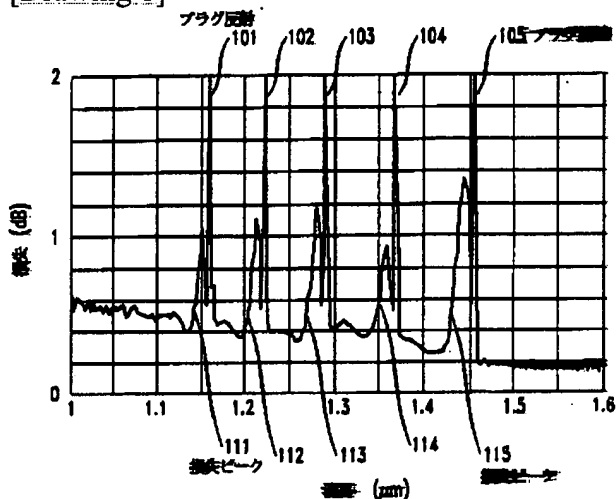
## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

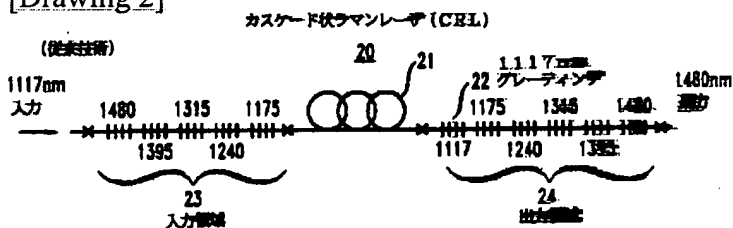
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

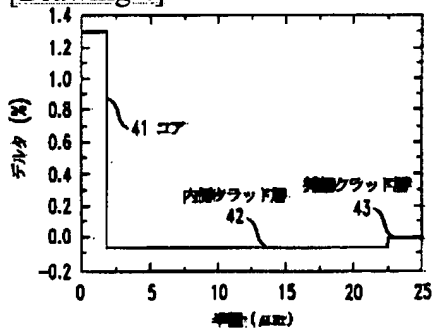
[Drawing 1]



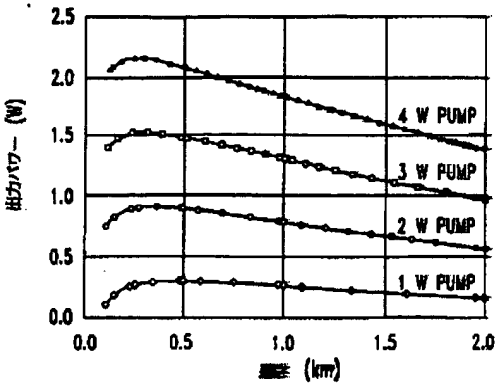
[Drawing 2]



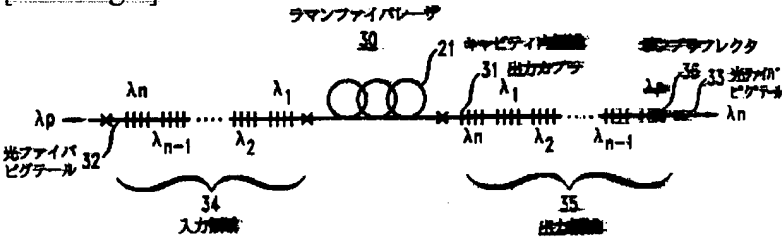
[Drawing 4]



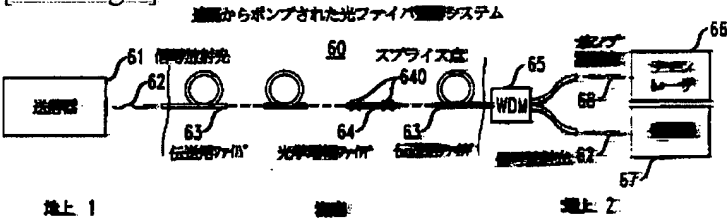
[Drawing 5]



[Drawing 3]



[Drawing 6]



[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-54853

(43) 公開日 平成11年(1999) 2月26日

(51) IntCl.<sup>6</sup>  
 H 0 1 S 3/30  
 G 0 2 F 1/35

識別記号

5 0 2

F I

H 0 1 S 3/30  
 G 0 2 F 1/35

Z

5 0 2

審査請求 未請求 請求項の数9 OL (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平10-157007

(22) 出願日 平成10年(1998) 6月 5日

(31) 優先権主張番号 08/871023

(32) 優先日 1997年6月6日

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 596077259

ルーセント テクノロジーズ インコーポ  
 レイテッド

Lucent Technologies  
 Inc.

アメリカ合衆国 07974 ニュージャージ  
 ー、マレーヒル、マウンテン アベニュー  
 600-700

(72) 発明者 ウィリアム アルフレッド リード

アメリカ合衆国, 07901 ニュージャージ  
 ー、サミット、ブラックバーン ロード  
 143

(74) 代理人 弁理士 三俣 弘文

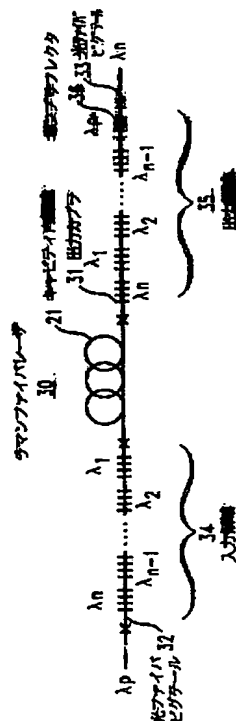
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ラマンファイバレーザを有するシステム

(57) 【要約】

【課題】 変換効率を大幅に増加させ信頼性の高いカスケード状ラマンレーザ (CRL) を提供すること。

【解決手段】 本発明は、波長 $\lambda_p$ のポンプ放射光を受領し、 $\lambda_p$ 以上の波長 $\lambda_n$ の出力光を放射するCRLにおいて、前記CRLは、入力領域と出力領域との間に配置された長さ $L$ のキャビティ内領域を有するある長さの光ファイバからなり、前記入力領域と出力領域とは、それぞれ中心波長 $\lambda_1 < \lambda_2 < \dots < \lambda_n$ を有するファイバブラッググレーティングを有し、前記入力領域と出力領域において、そのファイバブラッググレーティングは、その中心波長がキャビティ内領域から離れるにしたがって大きくなるような順番で配置される。前記出力領域において、中心波長 $\lambda_n$ のファイバブラッググレーティングは、キャビティ内領域と中心波長 $\lambda_{n-1}$ のファイバグレーティングとの間に配置されることを特徴とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 波長 $\lambda_p$ のポンプ放射光を受領し、 $\lambda_p$ 以上の波長 $\lambda_n$ の出力光を放射するラマンファイバレーザ(30)を有するシステムにおいて、前記ラマンファイバレーザ(30)は、

a) 入力領域(34)と出力領域(35)との間に配置された長さ $L$ のキャビティ内領域(21)を有するある長さの光ファイバを有し、

前記入力領域(34)と出力領域(35)とは、それぞれ中心波長 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ (ここで $n$ は2以上で、 $\lambda_1 < \lambda_2 < \dots < \lambda_n$ )を有するファイバブラッググレーティングを有し、

b) 前記入力領域(34)において、中心波長 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ のファイバブラッググレーティングは、その中心波長がキャビティ内領域から離れるにしたがって大きくなるような順番で配置され、

c) 前記出力領域(35)において、中心波長 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{n-1}$ のファイバブラッググレーティングは、その中心波長がキャビティ内領域(21)から離れるにしたがって大きくなるような順番で配置され、

d) 前記出力領域(35)において、中心波長 $\lambda_n$ のファイバブラッググレーティング(31)は、キャビティ内領域(21)と中心波長 $\lambda_{n-1}$ のファイバグレーティングとの間に配置されることを特徴とするラマンファイバレーザを有するシステム。

【請求項2】 前記出力領域(35)において、中心波長 $\lambda_n$ のファイバブラッググレーティング(31)は、キャビティ内領域(21)と中心波長 $\lambda_1$ のファイバグレーティングとの間に配置され、

前記出力領域(35)の中心波長が $\lambda_n$ のファイバブラッググレーティングのピーク反射率は、10~25%の範囲内にあることを特徴とする請求項1記載のシステム。

【請求項3】 前記出力領域(35)においては、中心波長が $\lambda_p$ のファイバブラッググレーティングは、中心波長が $\lambda_{n-1}$ のファイバブラッググレーティングよりもキャビティ内領域(21)からさらに遠くに配置されることを特徴とする請求項1記載のシステム。

【請求項4】 前記隣接するファイバブラッググレーティングの間の中心周波数間隔は、11.7~14.9THzの範囲の周波数シフトに対応することを特徴とする請求項1記載のシステム。

【請求項5】 前記キャビティ内領域(21)と入力領域(34)と出力領域(35)は、全てシリカベースの光ファイバを有し、

この光ファイバのコアのデルタ( $\Delta$ )は1.0~1.8%の範囲内に、クラッド層のデルタ( $\Delta$ )は-0.5から-0.1%の範囲内に入り、

前記コアのデルタ( $\Delta$ )は $(n_c - n_0)/n_0$ で、クラッド層のデルタ( $\Delta$ )は $(n_{cl} - n_c)/n_c$ で定義され、ここで $n_c$ はコアの有効屈折率で、 $n_{cl}$ はクラッド

層の有効屈折率で、 $n_0$ は溶融シリカの屈折率であることを特徴とする請求項1記載のシステム。

【請求項6】 a) 中心波長が $\lambda_n$ のファイバブラッググレーティングのピーク反射率は10~25%の範囲内に入り、

b) 前記出力領域において、中心波長が $\lambda_p$ のファイバブラッググレーティングは、中心波長が $\lambda_{n-1}$ のファイバブラッググレーティングよりもキャビティ内領域から離れた位置に配置され、

c) 前記複数のファイバブラッググレーティングは、反射バンド幅の半値全幅が0.8~2.0nmに入る反射率を有することを特徴とする請求項2記載のシステム。

【請求項7】 前記システムは光ファイバ通信システムであり、送信器(61)と受信機(67)と、この送信器(61)と受信機(67)を接続する光ファイバ伝送パス(63)と、光ファイバ増幅器(64)と、波長 $\lambda_p$ のポンプ放射ソース(66)とを有し、

前記ポンプ放射は、前記ラマンファイバレーザに与えられ、波長 $\lambda_n$ の出力放射が前記光ファイバ増幅器(64)に与えられることを特徴とする請求項1記載のシステム。

【請求項8】 前記光ファイバ増幅器(66)は、ラマン増幅器であり、

$\lambda_n$ は1.45 $\mu$ mまたは1.24 $\mu$ mであることを特徴とする請求項7記載のシステム。

【請求項9】 前記光ファイバ増幅器(66)は、遠隔からポンプされるErドープの光ファイバ増幅器であり、

$\lambda_n$ は1.48 $\mu$ mであることを特徴とする請求項7記載のシステム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、カスケード状ラマンファイバレーザに関し、特にこのようなレーザを含む物品とシステムに関する。

## 【0002】

【従来の技術】カスケード状ラマンレーザ(Cascaded Raman Lasers(CRL))は、公知である。例えば米国特許第5,323,404号を参照のこと。簡単に説明すると、ラマンレーザは、ラマン散乱現象を利用している。このラマン散乱現象は、非線形媒体(一般的には光ファイバ、通常シリカベースの光ファイバ)内を伝播する光をこの非線形媒体の振動モードに結合して、異なる(通常長い)波長を再放射する非線形光学プロセスである。

【0003】「カスケード状」のラマンレーザは、波長 $\lambda_n$ の出力光用の光学キャビティに加えてさらに波長 $\lambda_{n-1} < \lambda_n$ の放射用光学キャビティをさらに有する。ここで $n \geq 2$ の整数である。

【0004】溶融シリカを非線形媒体として用いた場合

には、最大ラマンゲインは13.2THzの周波数シフトの点で発生し、これは1 $\mu$ mと1.5 $\mu$ mの間のポンプ波長に対し、50~100nmの波長シフトに相当する。

【0005】CRLは1310nmまたは1550nmのラマン増幅器用のポンプレーザとして、あるいは再生器を有さない光学ファイバ通信システムにおける遠隔ポンプのE<sub>r</sub>ファイバ増幅器用の1480nmポンプレーザとして用いることができる。これ以外の他の目的あるいは他の波長も使用することができる。

【0006】従来技術にかかるCRLは、高い変換効率(約35%)を有する小型で利便性の高い光学ソースである。しかし、変換効率が少しでも改善されると大きな経済的効果がある。例えば、変換効率がわずかに数パーセントでも増加すると、半導体ポンプレーザダイオードの信頼性を大幅に向上させることができる。その理由は、このようなレーザの信頼性は、出力パワーに対し極めて高い線形依存性を有するからである。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】信頼性は光ファイバ通信システムにおける最大の関心事であるために、変換効率を大幅に増加させるようなCRLが極めて望まれている。したがって本発明はこのような信頼性の高いCRLを提供することである。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明のCRLは波長 $\lambda_p$ のポンプ放射光を受光し、 $\lambda_p$ 以上の波長の $\lambda_n$ の出力光を放射する。本発明のCRLは、請求項1に記載した特徴を有する。ここで長さ $L$ は通常数百m程度の長さであり、出力領域と入力領域は1m程度の長さである。

【0009】本発明の実施例においては、ポンプリフレクタ(反射)グレーティング(pumpreflector grating)は、出力側の $\lambda_1$ グレーティングよりもキャビティ内領域(intracavity section)からさらに遠い位置(言い換えると、キャビティ内領域を中心にした場合 $\lambda_1$ グレーティングより外側)例えば、通常 $\lambda_{n-1}$ グレーティングよりも遠い位置にあり、高反射グレーティングは、0.8~2.0nmの範囲の反射バンド幅を有し、出力カプラの最大反射率は、10~25%であり、隣接するラマンレーザ段の間の周波数シフトは11.7~14.9THzの範囲内にあり、キャビティ内光学ファイバのコアのデルタは1~1.8%で、クラッド層のデルタは-0.05から-0.1%であり、キャビティ内領域の長さは300~1200mの範囲内にある。

【0010】本発明の実施例における上記の特徴により、周波数効率は1%程度改善され、さらに最適な構成を用いることもできる。一方、グレーティングの配置順序(出力カプラを $\lambda_{n-1}$ グレーティングよりもキャビティ内領域近傍に配置し、通常 $\lambda_1$ グレーティングよりも近い領域に配置する)により、10%程度変換効率が改

善され、これは本発明のCRLの極めて重要な特徴である。さらに改善するためには、キャビティ内領域の長さを適宜調整する必要がある。

【0011】用語の定義

本明細書で使用される光ファイバの2つの離間した特徴間の距離とは、光ファイバの軸に沿った距離を意味する。ファイバラマンレーザの「キャビティ内領域」とは、入力領域と出力領域の間の光ファイバのグレーティングのない中央部分を意味する。そしてこの入力領域と出力領域(「端部部分」と総称する)は、ラマンレーザのファイバブラッググレーティングの全てを含んでいる。中心波長が等しい2個の離間した短周期ファイバブラッググレーティングは、この中心波長に等しい波長の放射を行う光学キャビティを形成する。

【0012】

【発明の実施の形態】本発明によるカスケード状ラマンレーザ(CRL)は、類似の従来技術にかかるCRLよりもはるかに高い変換効率を有する。本発明の重要な特徴点は、光ファイバブラッググレーティングの配置順序(それゆえ光学キャビティの配置順序)である。これについて次に説明する。

【0013】米国特許第5,323,404号は、様々な配置順序(例えば、図1,2とその関連説明を参照のこと)を開示し、次のように説明している。「ライン状の屈折率グレーティングは、反射バンドの外側の波長においては、ほぼ100%透過状態で、それゆえリフレクタの配置場所には自由度がある。例えば光学キャビティは、順序よく並べられるかあるいはある程度オーバーラップして配置される。」しかし、前掲の特許は、本発明の請求項1に記載した特殊な配置順序について開示あるいは示唆していない。

【0014】前掲の特許の図4では、ラマン増幅器を開示し、そのファイバブラッググレーティングの中心波長は、キャビティ内領域から離れるにつれて増加している。これに関しては、S.G. Grubb, OFC '96, San Jose, California, Tutorial Sessions Handbook, p. 243 (1996)を参照のこと。同文献のp. 256においては、キャビティ内領域からの距離と共に増加する中心波長を有するグレーティングと、キャビティ内領域の下流側のすぐ後ろにポンプリフレクタを有し、キャビティ内領域からの最も遠い位置に出力カプラを具備するCRLを開示している。同時にまたpp. 258と259を参照のこと。

【0015】シリカベースのシングルモードファイバ内に書き込まれた短周期のブラッググレーティングに関連する2つの損失メカニズムの存在は公知である。例えばこれに関しては、V. Mizrahi et al. 著の J. of Lightwave Technology, Vol. 11, p.1513 (1993) と、P.J. Lemaire et al. 著の Electronics Letters, Vol. 29, p. 1191 (1993)を参照のこと。

【0016】前者の文献では、グレーティングのブラッグ共鳴波長（中心波長）よりも若干短い波長での後方伝播クラッドモード（backward-propagating cladding mode）への結合に関連する損失メカニズムを論じ、後者の論文は、グレーティングを書き込むのに用いられるUV放射により導入されるブロードバンドの背景損失について議論している。

【0017】図1は一連の5個のグレーティング（即ち、1450nm CRL用のグレーティングの出力領域）の伝送スペクトラムを表し、これらの損失メカニズムの影響を示している。数字101～105は、それぞれのグレーティングのブラッグ反射を、数字111～115は、クラッド層モード結合に起因する損失のピークを表す。あるブラッグリフレクタからのクラッドモード損失の末尾（例、12）は、短波長側の隣接するグレーティングの波長にまで及んでいる。

【0018】CRLの変換効率を向上させるために、上記に議論したメカニズムに起因する損失を含めてキャビティ損失を最少にしなければならない。ファイバブラッググレーティングを適切な順序で配置することにより、上記に議論したメカニズムに起因する損失を大幅に減らすことができる。従来技術で用いられた従来方式の配置順序を図2に示す。同図はポンプ放射（代表例として1117nm放射）を受領し、このポンプ放射を出力放射（代表例として1480nm放射）に変換する。

【0019】21はレーザのキャビティ内領域を、23は入力領域を、24は出力領域を表す。スプライスは記号「x」で表す。少なくとも原理的にはレーザはキャビティ内領域と入力領域および出力領域との間にスプライス（接続部分）なしに形成することができる。しかし、製造上の理由からグレーティングが端部領域に書き込まれた後、この端部領域をキャビティ内領域に溶融接合（fusion splice）するのが好ましい。端部領域のファイバは、キャビティ内領域のそれと通常同一のものである。

【0020】入力領域は通常5個のファイバブラッググレーティングを有し、その中心波長はそれぞれ1175nm、1240nm、1315nm、1395nm、1480nmである。この入力領域は、キャビティ内領域から距離が離れるにつれて中心波長も大きくなるようなグレーティングを有する（キャビティ内領域を中心にみた場合外側にいくほど中心波長が大きくなる）。

【0021】出力領域も入力領域のグレーティングに適合する5個のファイバブラッググレーティングを有し、その中心波長は同じくキャビティ内領域からの距離が増えるにしたがって増加する波長（例えばそれぞれ1175nm、1240nm、1315nm、1395nm、1480nm）である。各対のファイバブラッググレーティング（例えば1175nmの中心波長を有する2個のグレーティング）は、光学キャビティを形成し、そしてそ

のグレーティングは、通常高い反射率（例、95%以上）を有する。

【0022】ポンプ放射は、何等損傷を受けずに入力領域からキャビティ内領域へ伝播する。このキャビティ内領域でポンプ放射の大部分は、ラマン散乱により1175nm放射に変換され、この放射が出力領域の1175nmグレーティングにより反射される。この反射された1175nm放射はその後ラマン散乱により1240nm放射に変換され、そしてこの放射が入力領域の1240nmグレーティングにより反射される。ラマン散乱によるこの波長変換のプロセスは、1480nm放射が生成されるまで行われる。その後この放射を利用する。

【0023】図2は、出力領域はポンプリフレクタ（反射器）として機能する1117nmグレーティング22を有する。このポンプリフレクタを図2に示すようにキャビティ内領域のすぐ下流側に配置することは可能であるが、しかし最適ではない。以下このことについて説明する。

【0024】上記のレーザ動作は、単純化して説明できる。通常光子（光子）は、ラマン散乱を受ける前に光学キャビティ内を反射されて行ったり来たりしており、そしてその結果、キャビティから出て次の光学キャビティ内に入るより長い波長の光子を生成する。

【0025】本発明によるCRLを図3に示す。同図において、32、33は従来のファイバの「ビグテール」を、34は入力領域を、35は出力領域を、31は出力カプラを、36はポンプリフレクタを表す。様々な種類のグレーティングは、その中心波長 $\lambda_1 < \lambda_2 < \dots < \lambda_{n-1} < \lambda_n$ でもって区別される。

【0026】ファイバブラッググレーティングの配置順序を図3に示したが、次にこの配置順序が損失を減らし、その結果変換効率を増加させる理由を説明する。

【0027】あるグレーティングからのクラッドモード結合は、そのグレーティングの短波長側で損失となるという実験結果があるために、上記の配置順序が入力領域の $\lambda_1$ グレーティングを通過する $\lambda_p$ 放射に起因するCRLの全クラッドモード損失を低減させる。さらにまたより長い波長がキャビティ内の多数の非共鳴グレーティングで発振しているが、これは大きな損失とはならない。その理由は、このより長い波長は短い波長よりも背景損失の影響が少ないからである。かくして背景損失とクラッドモード損失の両方ともグレーティングを適切に配置することにより大幅に低減できる。

【0028】さらにまたCRLの変換効率は、出力カプラの配置位置と、出力放射用の光学キャビティの出力領域グレーティングにより大きく影響を受けることが見いだされた。この出力カプラは、通常弱グレーティング（一般的には中心波長においてわずか20%の反射率に過ぎない）であり、それ故に大きなクラッドモード結合を生成しない。その結果変換効率は、出力カプラを図2

に示した配置よりもよりキャビティ内領域に近づけて配置することにより改善することができる。本発明によるCRLにおいては、出力カプラはキャビティ内領域に最も近くに配置された出力領域のグレーティングである(図3)。

【0029】図3において、32、33は従来のファイバビグテールを、34は入力領域を、35は出力領域を、31は出力カプラを、36はポンプリフレクタを表す。様々な種類のグレーティングは、中心波長 $\lambda_1 < \lambda_2 < \dots < \lambda_{n-1} < \lambda_n$ により区別される。

【0030】出力カプラを図3に示すよう配置しても大きなクラッドモード損失を共鳴短波長には導入せず、出力放射( $\lambda_n$ )が受ける背景損失を大幅に低減することができる。

【0031】ポンプリフレクタ36は、大きな背景損失を導入する強グレーティング( $\lambda_p$ における反射率は95%以上)である。CRLの背景損失は、ポンプリフレクタが $\lambda_1$ グレーティングよりもキャビティ内領域から遠くに配置された、好ましくはキャビティ内領域から最も遠い位置に配置された出力領域グレーティングである場合に低減できる(図3に示すようにこれが本発明の一実施例である)。しかし、図3に示すようなポンプリフレクタの配置は、選択的事項である。例えば、ポンプリフレクタグレーティングが弱グレーティングとして形成された場合には、ポンプリフレクタはキャビティ内領域近くに配置することも可能である(図2)。

【0032】図3に示すようなグレーティングの配置順序により、大幅な変換効率の増加が得られる。例えば、本発明によるCRL( $\lambda_p = 1117 \text{ nm}$ 、 $\lambda_n = 1480 \text{ nm}$ )は、1117 nmの光を1480 nmの光に変換するために、グレーティングの順序のみが異なる従来技術のCRLに比較して9%高い傾斜効率が得られる。

【0033】変換効率は、グレーティングのバンド幅を適宜選択することにより改善することを本発明者らは見いだした。例えば、従来の2.3 nmから1.8 nmへの高反射率グレーティングの全てのバンド幅(半値全幅、即ちFWHM)を減らすことにより4%の変換効率の改善が得られた。かくして本発明によるCRLは、0.8~2.0 nmの範囲内のバンド幅の高反射率(95%以上、好ましくは98%以上)のグレーティングを有する。

【0034】最低スペクトラムバンド幅の選択に際し、注意すべき事項としては、共鳴キャビティを形成する2個のグレーティング間で良好なオーバーラップが得られるようなスペクトラムバンド幅に亘って高いグレーティング反射率が必要なことである。その理由は、このようにしない場合には、あるグレーティングから反射された光学パワーは、第2のグレーティングで弱く反射され、これにより大幅なキャビティ損失メカニズムを与えることになるからである。

【0035】現在のグレーティング製造技術の波長の精度は、約0.1 nmが限界であるので、高反射率のバンド幅は $>>0.1 \text{ nm}$ (例えば約0.3 nm)にして、その結果高反射率の領域が良好な重なりを有するようになしなければならない。高反射率バンド幅と半値全幅(FWHM)との間の関係は、グレーティングの長さにより決定できる。0.8 nmの最低のFWHMは、グレーティング長さに一部依存する。1 cm以下の長さのグレーティングを用いた場合には、高反射率バンド幅はFWHMのほぼ2分の1に制限される。

【0036】出力カプラ強度の選択は変換効率に影響することを本発明者は見いだした。例えば上記のCRLで約4 Wのポンプパワーの場合には、最適の変換効率は20%の反射率の出力カプラの場合に得られる。実際には最適の出力カプラ強度は、多くのファクタに依存しており、一般的に最適の値を予測することは不可能である。しかし、最適値は実験により決定でき、それは通常10~25%の範囲内である。

【0037】溶融シリカ系においては、最大のラマンゲインは13.2 THzの周波数スペースで発生する。Ge-シリカ系ファイバにおいては、最大ゲインは若干長波長側にシフトした場所で発生するが、その理由はGeO<sub>2</sub>がラマン散乱の感受性に寄与するからである。CRLにおいては、所望のポンプ波長と出力波長は複数の最大限周波数シフトにより分離されていない。

【0038】しかし、最適ではない周波数シフトを用いても、必ずしも変換効率の受け入れられないほどの低下とはならないことを我々は見いだしている。具体的に説明すると、Ge-ドーパのシリカ系ファイバにおいて、11.7 THzと14.9 THzの間の周波数シフトに対しては、ラマンゲインの係数はその最大値の少なくとも90%であり、中心波長が対応して異なるグレーティングを選択することは変換効率に何等影響を及ぼさず、その結果CRLの設計者にはポンプ放射と出力放射の選択に対しさらに大きな自由度が与えられる。

【0039】レーザ発振しきい値を最低にし、ラマン感受性を増加させるために、高いデルタ( $\Delta$ )と小さな有効コアを有するゲルマニウム-シリケート系ファイバを用いるのが好ましい。しかし、小さな有効コアを有するファイバは、CRLの性能にとって異常な損失をしばしば示すことがある。さらにまた高いデルタのファイバは、それ自身へのスプライス(入力領域と出力領域をキャビティ内領域にスプライスする)および別の設計のファイバにスプライスすることができるもの(入力ビグテールと出力ビグテール)でなければならない。様々な理由により、スプライスは低損失でなければならない。

【0040】上記の要件は、高いデルタのファイバがフッ素注入クラッド層を有する場合、およびビグテールがマッチドクラッドファイバ(matched-clad fiber)の場合に適合できることを見いだした。このファイバの選択



により、それ自身へのスプライスができ、高いデルタ ( $\Delta$ ) ファイバのコアのデルタ ( $\Delta$ ) が1.0から1.8%の範囲にあり、フッ素をドーピングしたクラッド層のデルタ ( $\Delta$ ) が-0.5-0.1%にある場合には、差分拡散によりビグテールのスプライスが容易となる。

【0041】ここで用いられた用語(コア、クラッド層、デルタ ( $\Delta$ )、マッチドクラディング (matched cladding)) は従来公知のものであり、当業者には理解できるものである。例えばコアのデルタ ( $\Delta$ ) は、 $(n_c - n_0) / n_0$  で定義でき、ここで  $n_c$  はコアの有効屈折率であり、 $n_0$  は熔融シリカの屈折率であり、クラッドのデルタ ( $\Delta$ ) は  $(n_{c1} - n_0) / n_0$  で定義でき、ここで  $n_{c1}$  はF-ドープのクラッド層の有効屈折率である。

【0042】図4は、本発明のCRLのキャビティ内領域と出力領域に用いられる光ファイバのデルタプロファイル(屈折率プロファイル)を示す。41はコアで、42は内側クラッド層で、43は外側クラッド層であり、この外側クラッド層43は光ファイバの外側表面にまで延びるものである。

【0043】CRLのキャビティ内領域の長さは、パラメータであり、最適の長さはレーザの損失、有効コアのサイズ、ポンプパワーに依存する。CRLの出力パワーは図5に示すようなファイバの長さに依存する。これに関しては、W.A. Reed et al. 著の OFC '95 Technical Digest, p.107, WD1 を参照のこと。CRLをスプライスの変動、あるいはグレーティングの損失に対し不感性的にするためには、キャビティ内領域の長さをあるポンプパワーに対し、出力パワーが最大となる長さよりも若干長くするのが好ましい。

【0044】上記に説明した結果、この長さは類似の従来技術にかかるCRLの対応する長さよりもはるかに短いものである。従来技術のキャビティ内領域の長さは約1kmであるのに対し、本発明のキャビティ内領域の長さは約500mである。このようにキャビティ内領域の長さが短くなることにより変換効率が上昇し、かつコストも低下する。しかし、本発明のCRLのキャビティ内領域は、必ずしも1km以下である必要はない。一般的に300~1200mの範囲内で、好ましくは700m以下である。

【0045】図6は、本発明のシステムを表す、即ち遠隔からポンプされた光ファイバ通信システム60は、送信器61(通常地上1の上にある)と受信機67(通常地上2の上にある)とを有する。信号放射光62(例えば、1.55 $\mu$ mの波長)は、従来の伝送用ファイバ63に接続され、そこを通過して光学増幅ファイバ64に送信され、さらに受信機に送信される。光学増幅ファイバ用のポンプ放射光68は、本発明によるCRL66に与えられ、これは従来のWDM65により伝送用ファイバに結合され、そこを通過して光学増幅ファイバ例えばE-ドープファイバに伝送される。ラマンレーザは信号放

射が増幅されるような光学増幅ファイバをポンピングするのに適した波長の放射(例、1.48 $\mu$ m)を出力できるように選択される。

【0046】本発明によるCRLは、ラマン増幅器(例、1.31 $\mu$ m用の増幅器)用のポンプ放射あるいは1.55 $\mu$ m信号放射を与えるのに用いられ、このような増幅器と本発明のCRLを有する光ファイバ通信システムが得られる。本発明によるCRLは、ポンプ放射ソースの有無にかかわらず市販のシステムであり、これも本発明の一実施例である。

#### 【0047】例1

CRLを図2に示すよう形成した。ファイバプラググレーティングの中心波長は、それぞれ1116nm(ポンプリフレクタ)、1174nm、1239nm、1311nm、1394nm、1484nmであり、これらグレーティングのFWHMはそれぞれ2.0nm、1.8nm、1.9nm、2.0nm、1.8nmである。出力部分の1484nmグレーティング(出力カプラ)の反射率は25%である。

【0048】キャビティ内領域の長さは1kmで、ファイバはゲルマニウムシリカ系ファイバで、コアのデルタ ( $\Delta$ ) は1.16%で、コアの半径は2.0 $\mu$ mで、内側(depressed)クラッド層のデルタ ( $\Delta$ ) は-0.27%で、内側クラッド層の外径は4.5 $\mu$ mで、ドーピングしていないシリカ系の外側クラッド層がある。従来のソースからの1116nmポンプ放射でCRLをポンピングすると、レーザは1484nmで発振する。このCRLは、700mWのしきい値と47%の傾斜効率(入力パワー-しきい値)/(出力パワー)である。

#### 【0049】例2

この例ではCRLは、例1と同様に製造したが、但し出力カプラ(出力領域の1485nmグレーティング)とポンプリフレクタ(出力領域の1115nmグレーティング)を交換して出力カプラの反射率は10%である。このCRLは、688mWのしきい値と52%の傾斜効率を有する。このグレーティングは例1のそれとは同一ではないが中心波長の差とFWHMは大きなものではなかった。

#### 【0050】例3

この例のCRLは例2のCRLとほぼ同一に製造したが、但し以下の相違点がある。

- i) ポンプリフレクタは、出力カプラと出力領域の1175nmグレーティングの間に配置した。
- ii) 出力カプラの反射率は、23%であった。
- iii) ファイバのコアのデルタ ( $\Delta$ ) は1.67%で、コアの半径は1.7 $\mu$ mで、内側クラッド層のデルタ ( $\Delta$ ) は-0.07%で、この内側クラッド層の外形は22.5 $\mu$ mで、キャビティ内領域の長さは480mであった。このCRLは384mWのしきい値を有し、傾斜効率は56%であった。このグレーティングは図2

のそれとは同一ではないが、中心波長の差とFWHMの差は大きなものではない。

【図面の簡単な説明】

【図1】一連のファイバグレーティングの損失スペクトラムを表す図

【図2】従来技術にかかるCRLを表す図

【図3】本発明にかかるCRLを表す図

【図4】本発明のCRL用の光ファイバの公称デルタプロファイルを表す図

【図5】本発明のCRLの出力パワー対キャビティ内領域長さの理論値（計算値）を表す図

【図6】本発明のCRLを含む遠隔からポンプされ光学増幅される光ファイバ通信システムを表す図

【符号の説明】

20 カスケード状ラマンレーザ（CRL）

21 キャビティ内領域

22 1117nmグレーティング

23, 34 入力領域

24, 35 出力領域

31 出力カプラ

32, 33 光ファイバビグテール

36 ポンプリフレクタ（反射器）

41 コア

42 内側クラッド層

43 外側クラッド層

60 遠隔からポンプされた光ファイバ通信システム

61 送信器

62 信号放射光

63 伝送用ファイバ

64 光学増幅ファイバ

65 WDM

66 カスケード状ラマンレーザ（CRL）

67 受信機

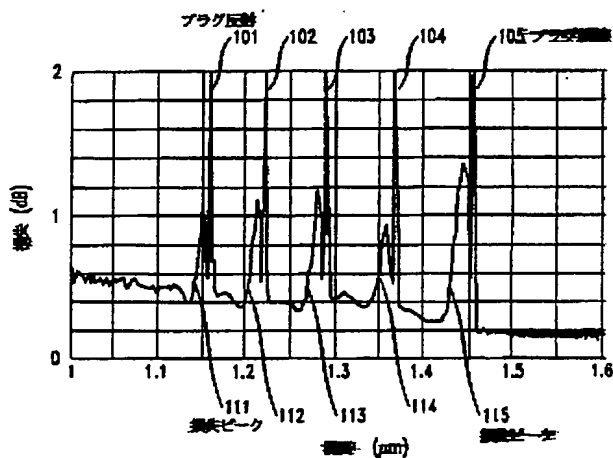
68 ポンプ放射光

101～105 ブラグ反射

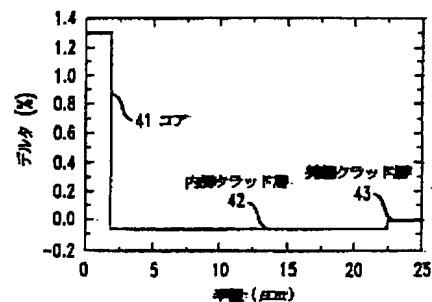
111～115 損失ピーク

640 スプライス（接合）点

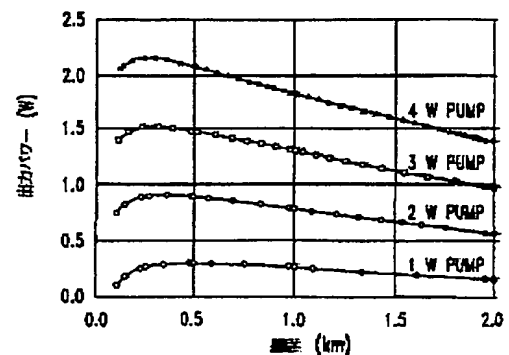
【図1】



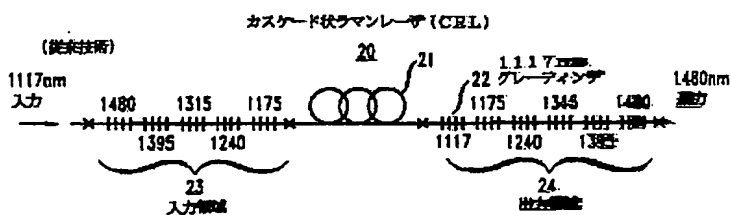
【図4】



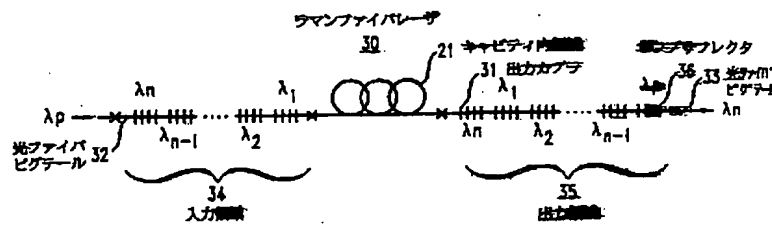
【図5】



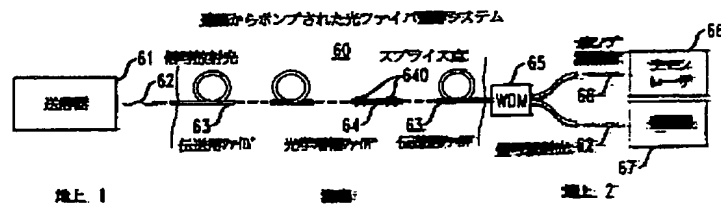
【図2】



【図3】



【図6】



フロントページの続き

(71)出願人 596077259  
600 Mountain Avenue,  
Murray Hill, New Je  
rsey 07974-0636 U. S. A.

(72)発明者 アンドリュウ ジョン ステンツ  
アメリカ合衆国, 07060 ニュージャージ  
ー, クリントン, グースタウン ドライブ  
9

(72)発明者 トーマス エー. ストラッサー  
アメリカ合衆国, 07060 ニュージャージ  
ー, ウォーレン, ハーモニー ロード 6